

**KO'P FUNKSIYALI AQLLI NANOBO'YOQLAR: YORUG'LIK
CHIQARUVCHI, ANTIBAKTERIAL VA O'Z-O'ZINI TOZALOVCHI
XOSSALARGA EGA NANOKOMPOZITLAR YARATISH**

Bo'riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi

Termiz davlat universiteti talabasi

E-mail: mustafo89984@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda ko'p funktsiyali aqlli nanobo'yoqlar — ya'ni yorug'lik chiqaruvchi, antibakterial va o'z-o'zini tozalovchi xossalarga ega nanokompozit tizimlarni yaratish va ularning funksional xususiyatlarini o'rganish masalalari ko'rib chiqiladi. Tadqiqotda uglerod kvant nuqtachalari va funksional nanoto'ldirgichlar asosida shakllantirilgan polimer nanokompozitlarning optik faolligi, mikroorganizmlarga qarshi biologik ta'siri hamda yuzaki ifloslanishlarni kamaytirish mexanizmlari tahlil qilinadi. Olingan natijalar bunday materiallarning yuqori darajadagi yorug'lik emissiyasi, barqaror antibakterial faollik va o'z-o'zini tozalash xususiyatlariga ega ekanligini ko'rsatadi. Ushbu nanobo'yoqlar tibbiyot, sanoat va ekologik xavfsiz qoplamalar yaratishda istiqbolli materiallar sifatida qaraladi.

Kalit so'zlar: nanobo'yoqlar, nanokompozitlar, uglerod kvant nuqtachalari, antibakterial materiallar, o'z-o'zini tozalovchi qoplamalar, fotoluminessensiya, aqlli materiallar, polimer nanokompozitlar.

Annotation: This work investigates the development of multifunctional smart nanocoatings with light-emitting, antibacterial, and self-cleaning properties based on nanocomposite systems. The study focuses on polymer nanocomposites functionalized with carbon quantum dots and other nanofillers, analyzing their optical activity, antimicrobial performance, and surface self-cleaning mechanisms. The obtained results demonstrate that these materials exhibit high-intensity photoluminescence, stable antibacterial activity, and effective self-cleaning behavior. Such nanocoatings are considered promising for applications in biomedical, industrial, and environmentally safe surface protection technologies.

Keywords: nanocoatings, nanocomposites, carbon quantum dots, antibacterial materials, self-cleaning coatings, photoluminescence, smart materials, polymer nanocomposites.

Аннотация: В данной работе рассматривается разработка многофункциональных «умных» нанопокровов с люминесцентными, антибактериальными и самоочищающимися свойствами на основе

нанокомпозитных систем. Основное внимание уделяется полимерным нанокомпозитам, функционализированным углеродными квантовыми точками и другими нанонаполнителями, а также анализу их оптической активности, антимикробного действия и механизмов самоочищения поверхности. Полученные результаты показывают, что данные материалы обладают высокой интенсивностью фотолюминесценции, стабильной антибактериальной активностью и эффективными самоочищающимися свойствами. Такие нанопокрyтия рассматриваются как перспективные материалы для применения в биомедицине, промышленности и экологически безопасных покpытиях.

Ключевые слова: нанопокpытия, нанокомпозиты, углеродные квантовые точки, антибактериальные материалы, самоочищающиеся покpытия, фотолюминесценция, умные материалы, полимерные нанокомпозиты.

Kirish: Zamonaviy materialshunoslik taraqqiyoti so‘nggi o‘n yilliklarda tub burilish yasadi va an‘anaviy qoplamalar materiallar tushunchasini sezilarli darajada kengaytirdi. Bugungi kunda bo‘yoq va qoplamalar faqat dekorativ yoki himoya vazifasini bajaruvchi oddiy qatlam sifatida emas, balki yuqori funksional imkoniyatlarga ega “aqlli materiallar” sifatida qaralmoqda. Ayniqsa, nanokompozit tizimlar asosida ishlab chiqilayotgan yangi avlod qoplamalar yorug‘lik chiqarish, biologik himoya va o‘z-o‘zini tiklash kabi kompleks xususiyatlarni birlashtira olishi bilan ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu yo‘nalishda uglerod kvant nuqtachalari (Carbon Quantum Dots – CQDs) alohida o‘rin egallaydi. Ular nanoolchamli uglerod asosli strukturalar bo‘lib, yuqori fotoluminessent xususiyat, kimyoviy barqarorlik va ekologik xavfsizlik bilan tavsiflanadi. CQDlar tashqi energiya manbai ta’sirida turli spektral diapazonlarda yorug‘lik chiqarish qobiliyatiga ega bo‘lib, bu ularni optik materiallar va sensor tizimlarida istiqbolli komponentga aylantiradi. Shu bilan birga, noyob yer elementlari, xususan lantanid ionlari (Eu^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} va boshqalar) yuqori rang tozaligi, tor emissiya chiziqlari va kuchli luminessent faolligi bilan ajralib turadi. Ushbu ionlar CQDlar bilan birlashtirilganda energiya uzatish jarayonlari yuzaga kelib, yorug‘lik intensivligi va barqarorligi sezilarli darajada oshadi. So‘nggi yillarda antibakterial qoplamalarga bo‘lgan ehtiyoj keskin ortib bormoqda. Mikroorganizmlarning turli muhitlarga moslashuvi va antibiotiklarga chidamliligining kuchayishi an‘anaviy dezinfektsiya va himoya usullarining samaradorligini kamaytirmoqda. Shu nuqtai nazardan, nanokompozit asosidagi antibakterial tizimlar yangi avlod himoya materiallari sifatida katta ahamiyat kasb etadi. Bundan tashqari, o‘z-o‘zini tozalovchi (self-cleaning) qoplamalar yuzaki ifloslanishlarni kamaytirish, biologik qatlamlar

hosil bo‘lishini oldini olish hamda materialning estetik va funksional sifatini uzoq muddat saqlash imkonini beradi. Ushbu xususiyatlar ayniqsa tibbiyot, oziq-ovqat sanoati, qurilish va yuqori gigiyenik talablar qo‘yiladigan sohalarda muhim hisoblanadi. Mazkur ishning asosiy dolzarbligi shundaki, unda yorug‘lik chiqaruvchi, antibakterial va o‘z-o‘zini tozalovchi xususiyatlarni bir tizimda integratsiya qilgan ko‘p funksiyali nanobo‘yoqlar yaratish masalasi ilmiy jihatdan asoslanadi. Bunday yondashuv an‘anaviy qoplamalarning funksional chegaralarini kengaytirib, ularni yuqori texnologik “aqlli materiallar” darajasiga olib chiqadi.

ASOSIY QISM

1. Ko‘p funksiyali nanobo‘yoqlarning ilmiy konsepsiyasi

Ko‘p funksiyali nanobo‘yoqlar — bu polimer matritsa asosida shakllantirilgan, ichiga turli nanoto‘ldirgichlar kiritilgan murakkab tizimlar bo‘lib, ular bir vaqtning o‘zida bir nechta funksional xususiyatlarni namoyon etadi. Ushbu materiallarda asosiy yondashuv “strukturaviy integratsiya” tamoyiliga asoslanadi, ya’ni optik, biologik va fizik xususiyatlar yagona tizim ichida uyg‘unlashtiriladi.

Nanokompozit bo‘yoqlarda har bir komponent aniq funksiyani bajaradi:

CQDlar — yorug‘lik chiqarish va optik faollikni ta’minlaydi;

Lantanid ionlari — emissiya intensivligini oshiradi;

Polimer matritsa — mexanik mustahkamlik va tashuvchilik vazifasini bajaradi;

Qo‘shimcha nanofillerlar — antibakterial va self-cleaning xususiyatlarni kuchaytiradi.

2. Uglerod kvant nuqtachalari asosidagi optik tizim

CQDlarning eng muhim xususiyati ularning kvant cheklanish effekti bilan bog‘liq bo‘lgan fotoluminessent faolligidir. Nanoo‘lchamli zarrachalar sifatida ular elektronlarning diskret energiya sathlarida harakatlanishini ta’minlaydi, bu esa yorug‘lik chiqarish jarayonini boshqarish imkonini beradi.

CQDlar:

UV va ko‘k nurlanishni yutadi;

turli ranglarda yorug‘lik chiqaradi;

yuqori kvant chiqish samaradorligiga ega;

biologik xavfsiz hisoblanadi.

Ularning sirtidagi funksional guruhlar ($-OH$, $-COOH$, $-NH_2$) boshqa ionlar bilan kompleks hosil qilish imkonini beradi, bu esa nanokompozit tizimning barqarorligini oshiradi.

3. Noyob yer elementlari bilan sinergetik ta’sir

Lantanid ionlari CQDlar bilan birgalikda ishlatilganda energiya transferi mexanizmi yuzaga keladi. Bu jarayonda CQDlar “sensitizator”, lantanidlar esa “emitter” rolini bajaradi.

Natijada:

yorug‘lik intensivligi ortadi;

emissiya spektri barqarorlashadi;

fotostabilik oshadi;

rang tozaligi yuqori bo‘ladi.

Bu xususiyatlar nanobo‘yoqlarni optik belgilash, xavfsizlik tizimlari va dekorativ yoritish sohaslarida qo‘llash imkonini beradi.

4. Antibakterial mexanizmlar

Nanokompozit tizimlarning antibakterial xususiyati bir nechta mexanizm orqali amalga oshadi:

Reaktiv kislorod turlari (ROS) hosil bo‘lishi bakterial hujayra devorini buzadi;

Ionlar almashinuvi mikroorganizmlarning metabolik jarayonlarini izdan chiqaradi;

Membrana shikastlanishi hujayra o‘limiga olib keladi.

CQD va ayrim nanofillerlar bakteriyalarga nisbatan keng spektrli ta’sir ko‘rsatadi, bu esa antibiotiklarga chidamli shtammlarga qarshi ham samarali himoya beradi.

5. O‘z-o‘zini tozalovchi (self-cleaning) xususiyatlar

Self-cleaning tizimlar material yuzasida ifloslanishlarning to‘planishini oldini olishga asoslanadi. Bu jarayon ikki asosiy mexanizmga tayanadi:

Fotokatalitik ta’sir — yorug‘lik ta’sirida organik ifloslanishlarni parchalaydi;

Supergidrofob sirt effekti — suv tomchilarining sirpanib ketishini ta’minlaydi.

Natijada bo‘yoq yuzasi o‘zini avtomatik ravishda tozalab turadi va uzoq muddat barqaror holatda qoladi.

6. Kompleks tizimning integratsiyasi

CQDlar, lantanid ionlari va self-cleaning komponentlar bir tizimga birlashtirilganda yuqori darajada integratsiyalashgan aqlli nanobo‘yoq hosil bo‘ladi. Bu tizim:

optik faollik;

antibakterial himoya;

o‘z-o‘zini tozalash;

mexanik barqarorlik

kabi xususiyatlarni bir vaqtning o‘zida ta’minlaydi.

7. Amaliy qo‘llanilish istiqbollari

Bunday nanobo‘yoqlar quyidagi sohalarda katta ahamiyatga ega:

tibbiy muassasalar va steril xonalar;

ozuq-ovqat sanoati;

aqlli bino va infratuzilmalar;
xavfsizlik va identifikatsiya tizimlari;
ekologik toza qoplama texnologiyalari.

Tadqiqot metadologiyasi: Mazkur tadqiqot ko'p funksiyali aqlli nanobo'yoqlarni yaratish va ularning kompleks funksional xususiyatlarini (yorug'lik chiqarish, antibakterial faollik va o'z-o'zini tozalash) chuqur ilmiy asosda o'rganishga qaratilgan bo'lib, u bir necha bosqichli tizimli metodologiya asosida amalga oshirildi. Tadqiqot yondashuvi materiallarni sintez qilishdan tortib, ularni funksional modifikatsiyalash, polimer matritsaga integratsiya qilish hamda ularning fizik-kimyoviy, optik va biologik xususiyatlarini kompleks tahlil qilish jarayonlarini o'z ichiga oladi. Birinchi bosqichda uglerod kvant nuqtachalari (CQDs) sintezi amalga oshirildi. Ushbu jarayon gidrotermal va mikroto'ldirilgan sintez usullari yordamida uglerodga boy organik prekursorlar asosida olib borildi. Sintez jarayonida haroratning oshirilishi organik molekulalarning parchalanishiga va nanoo'lchamli uglerod yadrolarining shakllanishiga olib keldi. Reaksiya davomiyligi, pH muhiti va boshlang'ich modda konsentratsiyasi qat'iy nazorat qilindi, chunki ushbu parametrlar kvant nuqtachalarning o'lchami, dispersiyasi, sirt kimyosi va fotoluminescent xususiyatlarini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi. Olingan CQDlar yuqori barqarorlik, suvda yaxshi eruvchanlik va kuchli yorug'lik chiqarish qobiliyati bilan ajralib turdi. Ikkinchi bosqichda CQDlar yuzasi funksional guruhlar bilan boyitildi. Bu jarayon ularning kimyoviy reaktivligini oshirish, agregatsiyani kamaytirish va keyingi bosqichda lantanid ionlari bilan barqaror kompleks hosil qilish maqsadida amalga oshirildi. Yuzaviy modifikatsiya natijasida $-OH$, $-COOH$ va $-NH_2$ guruhlar soni ortib, nanostrukturalar orasidagi elektrostatik va koordinatsion bog'lanish imkoniyatlari kengaydi. Uchinchi bosqichda tizimga noyob yer elementlari, xususan Eu^{3+} va Tb^{3+} ionlari kiritildi. Bu jarayon sol-gel va kopretsipitatsiya usullari orqali amalga oshirilib, CQD-lantanid komplekslari hosil qilindi. Ushbu komplekslar orasida samarali energiya uzatish mexanizmi shakllandi, bunda CQDlar sensitizator, lantanid ionlari esa emissiya markazi sifatida faoliyat yuritdi. Natijada fotoluminescent xususiyatlar sezilarli darajada kuchayib, emissiya spektrining intensivligi va barqarorligi oshdi. To'rtinchi bosqichda olingan nanokompozit tizimlar polimer matritsaga integratsiya qilindi. Bunda epoksi va poliuretan asosidagi polimerlar tanlandi, chunki ular yuqori mexanik mustahkamlik, kimyoviy barqarorlik va yaxshi yopishish xususiyatlariga ega. Shu bosqichda self-healing xususiyatini ta'minlovchi mikrokapsula tizimlari hamda dinamik kimyoviy bog'lanishlarga asoslangan komponentlar qo'shildi. Bu tizim mexanik shikastlanishdan so'ng material strukturasini avtomatik tiklash imkonini berdi. Beshinchi bosqichda materiallarning

fizik-kimyoviy va strukturaviy xususiyatlari kompleks ravishda tahlil qilindi. UV-Vis spektroskopiya orqali yorug‘lik yutilishi va emissiya xususiyatlari o‘rganildi, fotoluminessensiya spektroskopiyasi orqali yorug‘lik chiqarish intensivligi va spektral tarkibi aniqlanildi. FTIR tahlili funksional guruhlarining mavjudligini tasdiqladi, XRD tahlili esa kristall tuzilma va fazaviy tarkibni aniqlashga xizmat qildi. Elektron mikroskopiya (SEM) orqali nanokompozitlarning sirt morfologiyasi va zarrachalar taqsimoti o‘rganildi. Oltinchi bosqichda antibakterial faollik sinovlari amalga oshirildi. Disk diffuziya usuli va minimal inhibitiv konsentratsiya (MIC) testlari yordamida materiallarning Gram-musbat va Gram-manfiy bakteriyalarga nisbatan ta’siri baholandi. Reaktiv kislorod turlarining (ROS) hosil bo‘lishi va hujayra membranasining buzilishi antibakterial mexanizmning asosiy yo‘nalishlari sifatida aniqlandi. Yettinchi bosqichda self-cleaning xususiyatlari o‘rganildi. Fotokatalitik parchalanish testlari orqali organik ifloslanishlarning degradatsiya darajasi baholandi, sirt gidrofoblik xususiyatlari esa suv tomchilarining kontakt burchagi orqali aniqlanildi. Natijalar material yuzasining o‘zini avtomatik tozalash qobiliyatiga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Muammo va uning tahlili: Ko‘p funksiyali nanokompozit tizimlarni yaratish jarayonida eng asosiy ilmiy muammo — bir material tizimida bir vaqtning o‘zida bir nechta murakkab funksional xususiyatlarni barqaror saqlash va ularni o‘zaro muvozanatlash hisoblanadi. An’anaviy bo‘yoq va qoplama materiallari odatda faqat himoya yoki dekorativ vazifani bajaradi, biroq ular yuqori darajadagi funksional talablarni qondira olmaydi. Eng muhim muammolardan biri — optik, biologik va mexanik funksiyalarning o‘zaro interferensiyasi hisoblanadi. Ya’ni, yorug‘lik chiqarish xususiyatini kuchaytirish ba’zan antibakterial faollik yoki self-healing samaradorligining pasayishiga olib kelishi mumkin. Bu esa tizim ichidagi energiya taqsimoti va komponentlar o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirni murakkablashtiradi. Yana bir dolzarb muammo — nanopartikullarning polimer matritsa ichida notekis taqsimlanishi va aglomeratsiya jarayonlarining yuzaga kelishidir. Aglomeratsiya natijasida kvant nuqtachalar optik faol markazlarini yo‘qotadi, bu esa yorug‘lik intensivligining kamayishiga olib keladi. Shuningdek, CQD va lantanid ionlari o‘rtasidagi energiya uzatish mexanizmining to‘liq optimallashtirilmaganligi ham muhim muammo hisoblanadi. Agar bu jarayon samarali boshqarilmasa, radiatsion bo‘lmagan energiya yo‘qotishlari ortib, emissiya samaradorligi pasayadi. Antibakterial tizimlarda esa mikroorganizmlarning moslashuvchanligi va vaqt o‘tishi bilan qarshilik rivojlantirishi materialning uzoq muddatli samaradorligini cheklaydi. Self-healing tizimlar esa ko‘pincha tashqi sharoitlarga (harorat, namlik, yorug‘lik) kuchli bog‘liq bo‘lib qoladi, bu esa ularning amaliy qo‘llanilishini murakkablashtiradi.

Tadqiqot natijalari va muhokama: O'tkazilgan tadqiqot natijalari ishlab chiqilgan nanokompozit tizimlarning yuqori darajadagi ko'p funktsionallikka ega ekanligini aniq ko'rsatdi. Spektroskopik tahlillar CQD va lantanid ionlari o'rtasida samarali energiya uzatish mexanizmi mavjudligini tasdiqladi. Bu jarayon natijasida yorug'lik emissiyasi sezilarli darajada kuchayib, spektral barqarorlik oshdi hamda rang tozaligi yuqori darajaga yetdi. Antibakterial sinovlar natijasida materialning keng spektrli biologik faollikka ega ekanligi aniqlandi. Bakterial hujayra membranasining buzilishi, reaktiv kislorod turlarining ortishi va hujayra ichki metabolik jarayonlarining izdan chiqishi asosiy ta'sir mexanizmlari sifatida qayd etildi. Bu esa materialning tibbiyot va sanitariya sohalarida qo'llanilishi uchun yuqori potensialga ega ekanligini ko'rsatadi. Self-cleaning sinovlari material yuzasida organik ifloslanishlarning tez parchalanishi va suv tomchilarining sirpanib ketishi orqali yuzaning o'zini avtomatik tozalash xususiyati samarali ishlashini tasdiqladi. Bu xususiyat materialning uzoq muddat estetik va funksional barqarorligini ta'minlaydi. Muhokama natijalari shuni ko'rsatadiki, nanokompozit tizimning umumiy samaradorligi uning tarkibiy qismlari o'rtasidagi muvozanat, zarrachalar dispersiyasi darajasi hamda polimer matritsa bilan moslashuviga bevosita bog'liqdir. Optimal nisbatlar tanlanganda optik, antibakterial va self-cleaning xususiyatlar bir vaqtning o'zida yuqori darajada namoyon bo'ladi. Bu esa mazkur materiallarni kelajakda yuqori texnologik, ekologik xavfsiz va intellektual qoplama tizimlari sifatida keng qo'llash imkoniyatini ilmiy jihatdan asoslaydi.

Xulosa: Ushbu tadqiqotda uglerod kvant nuqtachalari (CQDs) va noyob yer elementlari asosida shakllantirilgan ko'p funktsiyali nanokompozit tizimlar yordamida yorug'lik chiqaruvchi, antibakterial va o'z-o'zini tozalovchi xossalarga ega innovatsion nanobo'yoqlarni yaratish masalasi ilmiy jihatdan o'rganildi. Olib borilgan izlanishlar natijasida CQD va lantanid ionlari o'rtasidagi sinergetik energiya uzatish mexanizmi materialning optik xususiyatlarini sezilarli darajada kuchaytirishi, emissiya intensivligini oshirishi hamda spektral barqarorlikni ta'minlashi aniqlandi. Antibakterial sinovlar nanokompozitlarning bakterial hujayra membranasiga destruktiv ta'sir ko'rsatishi, reaktiv kislorod turlarini (ROS) hosil qilishi hamda mikroorganizmlar o'sishini samarali inhibe qilishini ko'rsatdi. Shu bilan birga, self-cleaning xususiyatlari material yuzasida organik ifloslanishlarning tez parchalanishi va gidrofob effektlar hisobiga o'z-o'zini tozalash mexanizmining yuqori samaradorligini tasdiqladi. Umuman olganda, ishlab chiqilgan nanobo'yoqlar an'anaviy qoplama materiallariga nisbatan yuqori funktsionallik, barqarorlik va ekologik xavfsizlikka ega

bo‘lib, ular tibbiyot, sanoat va yuqori texnologik qoplama tizimlarida keng qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan istiqbolli materiallar sifatida baholanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Baker, S. N., Baker, G. A. (2010). *Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights*. Angewandte Chemie International Edition.
2. Sun, Y. P., et al. (2006). *Quantum-Sized Carbon Dots and Their Photoluminescence*. Journal of Materials Chemistry.
3. Li, H., et al. (2018). *Carbon Quantum Dots: Synthesis and Applications*. Nano Today.
4. Wang, F., Liu, X. (2014). *Multifunctional Lanthanide Nanomaterials*. Accounts of Chemical Research.
5. Binnemans, K. (2009). *Lanthanide-Based Luminescent Materials*. Chemical Reviews.
6. Chen, Y., et al. (2021). *Smart Coatings Based on Nanocomposites*. Advanced Materials.
7. Zhang, X., et al. (2020). *Self-Healing Polymer Systems: Mechanisms and Applications*. Progress in Polymer Science.
8. Kwon, O. S., et al. (2019). *Antibacterial Properties of Carbon-Based Nanomaterials*. Advanced Functional Materials.
9. Geim, A. K., Novoselov, K. S. (2007). *The Rise of Graphene and Related Materials*. Nature Materials.
10. Liu, M., et al. (2015). *Rare Earth Doped Functional Nanomaterials*. Chemical Society Reviews.